

PC 連結合成桁のクリープ・乾燥収縮応力

新日本技研(株)仙台事務所 設計部	正会員	高橋 眞太郎
同	同	正会員 倉方 慶夫
新日本技研(株)本社	正会員	高尾 孝二

1. はじめに

建設コストの縮減を目指して PC 桁においても新しい試みが検討され、実施に移されている。その例として、現場経費の削減と良好な品質の確保を目的としたプレキャスト桁、現場作業の省力化と少数主桁化を図ったコンボ橋、あるいは桁の靱性を上げかつ PC 鋼材を減らした PRC(PPC)桁などが挙げられる。しかし、設計計算法となると、それらの工法の進歩に適合した改良は行われていないように見受けられる。

Eurocode をはじめとして、PC 桁のクリープ応力の算定は Trost や Bazant に代表される遅れ弾性クリープを考慮した計算法に完全に移行しているのが世界的な動向である。しかしながら我国の設計基準は、主に 1930~40 年代の Dischinger によるクリープ応力の古い計算法を採用しており、また主として外国の文献からの引用が脈絡無く取込まれている。そのため、鋼合成桁の規定を含め、クリープ・乾燥収縮に関する設計規定が一貫性に欠ける結果となっている。我国でも設計基準を性能照査型の規定に改めるに際して基本的考え方を洗い直す時期にきていると感じられる。

Dischinger の計算法は、クリープ拘束応力を過大に評価することは度々指摘されている。そのために構造中の部位によっては危険側の結果を与える。本報告では、PC 連結合成桁の中間支点上連結部のクリープ応力に着目して問題点を指摘する。

2. 計算法と計算前提

ここで用いた計算モデルを図 - 1 に示す。床版と主桁の重ね梁であり、その間の相対水平変位は、ジベル鉄筋をモデル化した分布せん断バネで拘束されている。床版と主桁のそれぞれには完全合成された鋼材があり、

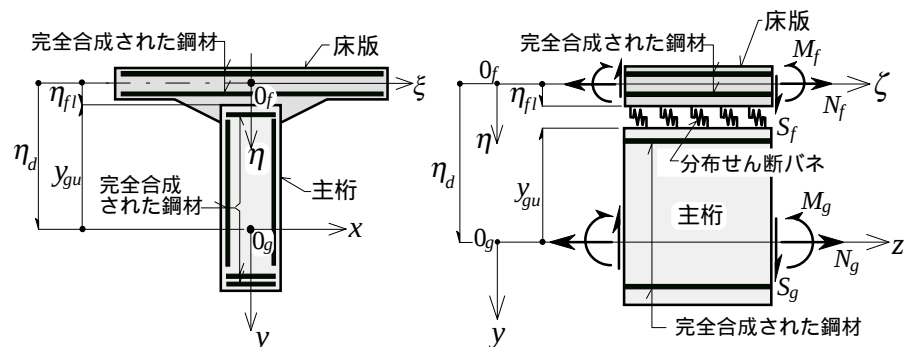


図 - 1 PC 連結合成桁の計算モデル

その鋼材によるクリープ・乾燥収縮の拘束効果を考慮する。各断面定数は 1 つの部材内で 1 次変化の変断面部材とする。また、床版と桁のそれぞれに任意のプレストレスが与えられる。

今回のクリープ・乾燥収縮の計算では遅れ弾性クリープを考慮した次式を用いた。

$$\Delta \varepsilon_c(t_2, t_1) = \frac{\sigma_c^{(0)}}{E_c(t_0)} \Delta \phi(t_{2-1}, t_0) + \frac{\Delta \sigma_c(t_2, t_1)}{E_c(t_0)} (1 + \rho(t_{2-1}, t_0) \phi(t_2, t_0)) + (\varepsilon_s(t_2) - \varepsilon_s(t_1)) \quad (1)$$

上式は遅れ弾性を考慮したクリープ・乾燥収縮計算のよく知られた基本式であるので記号の説明は省略するが、施工段階を追った計算を表示するため一部で表式を下記のように改めた。

$\Delta \phi(t_{2-1}, t_0)$: 材齢 t_0 に載荷された荷重に対するクリープ係数の材齢 $t_1 \rightarrow t_2$ 間の増分

$\rho(t_{2-1}, t_0)$: $\Delta \phi(t_{2-1}, t_0)$ による材齢 $t_1 \rightarrow t_2$ 間の増分クリープ応力を計算する際のレラクセーション係数

上式を基本とした段階施工ごとの経時変化を追った厳密なクリープ・乾燥収縮計算はかなりの労力を要するので以下のように簡略化した運用を行う。

キーワード：遅れ弾性クリープ、PC 連結桁、PC 合成桁、クリープ応力

〒983-0852 仙台市宮城野区榴岡 3-7-35 Tel.022-292-1801 Fax.022-292-1802

〒105-0014 東京都港区芝 2-1-23 Tel.03-3453-4321 Fax. 03-3453-4325

- ・ Trost のリラクセーション係数 ρ は正しくは経時変化する量であり、およそ $\rho \approx 0.5 \sim 1$ の範囲の値をとるが、定数と扱ってもその誤差は最大でも 3~4%程度であるので、 $\rho = 0.8$ の定数とする。
- ・ 各施工段階の日程と乾燥収縮度を表 - 1 に示す。
- ・ 計算に用いたクリープ係数を表 - 2 に示す。
- ・ クリープ・乾燥収縮計算時のコンクリートの弾性係数も各段階で通常の設計値の一定値を用い、主桁には $E_c = 3.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 、床版には $E_c = 2.8 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ とした。

表 - 1 施工日程と乾燥収縮度

	材齢 (日)	乾燥収縮度 ($\times 10^{-4}$)	
		主桁	床版
プレストレス導入時	$t_0 = 7$	0	---
床版・横桁の施工時	$t_1 = 100$	4.5	0
橋面工施工時	$t_2 = 120$	---	---
最終値	$t = \infty$	2.0	2.0

表 - 2 クリープ係数

主 桁		床 版
$\phi(t_\infty, t_0) = 2.60$	$\Delta\phi(t_{1-0}, t_0) = 1.35$	---
	$\Delta\phi(t_{\infty-1}, t_0) = 1.25$	---
$\phi(t_\infty, t_1) = \Delta\phi(t_{\infty-1}, t_1) = 1.27$		$\phi(t_\infty, t_1) = \Delta\phi(t_{\infty-1}, t_1) = 2.60$
$\phi(t_\infty, t_2) = \Delta\phi(t_{\infty-2}, t_2) = 1.22$		$\phi(t_\infty, t_2) = \Delta\phi(t_{\infty-2}, t_2) = 2.25$

・ 床版と主桁間のせん断バネは剛とした。
上記ののクリープ係数や弾性係数の値も議論のあるところであるが、本報告の目的はクリープ計算法の相違による影響を見ることにあるので、我国で一般に用いられている値に合わせたものである。

3. 比較計算

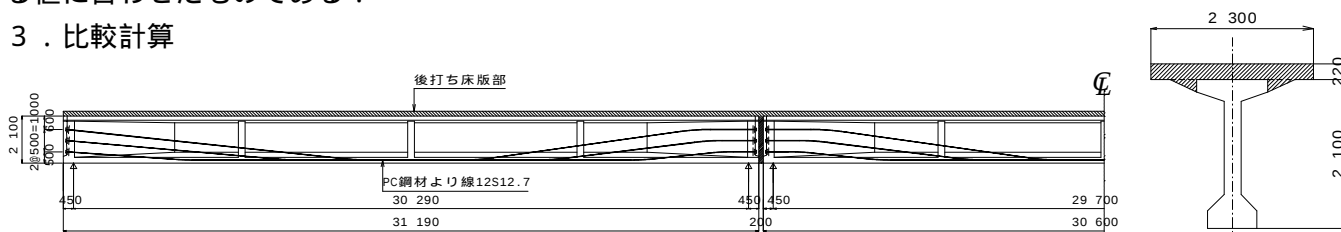


図 - 2 3 径間連結 PRC 合成桁

図 - 2 に計算の対象とした 3 径間連結 PC 合成桁を示す。これは、6 径間連結 PRC 合成桁の実施設計例をモデルにしたものであり、PRC 設計としての相応の鉄筋が配置されている。このモデルについて遅れ弾性ク

表 - 3 中間支点部の曲げモーメントの比較 単位: $\text{kN}\cdot\text{m}$

		現行法		計算 A		計算 B	
ク リ ー プ	プレストレス+自重	1397.1	1301.7	868.9	771.8	658.0	591.3
	床版+横桁	-1147.4	-1063.4	-963.0	-879.7	-886.5	-821.8
	橋面荷重	0.0	0.0	-17.7	20.6	-15.7	14.7
	合計	249.7	238.3	-111.8	-87.3	-244.2	-215.7
	乾燥収縮	-362.8	-348.7	-341.3	-307.9	-267.7	-252.0

リープを考慮しない道示の Mattock の計算法による結果(現行法と略称する)とそれを考慮した本報告の計算結果(計算 A, B)を表 - 3 で比較する。表 - 3 は中間支点の 2 つの支承上の曲げモーメント(クリープ係数が関与するもの)を示した。計算 A はクリープ・乾燥収縮変形を拘束するものとして PC 鋼材のみを考慮、計算 B は PC 鋼材と鉄筋を考慮したものである。この結果から次のことが判る。

- 中間支点連結部のクリープによる拘束モーメントを、現行法は計算 A に比べても 1.6~1.2 倍ほど大きく算出する。ただし、乾燥収縮に関しては現行法と計算 A の間の違いは比較的小さい。
- PRC 設計であるので、鉄筋を考慮するとクリープと乾燥収縮による曲げモーメントは 8~20%ほど減少する。その影響は比較的小さいように見えるが、表 - 3 に示す値はコンクリートと鋼材の合成断面に作用するものであり、数値は省略するがコンクリートと鋼材の断面力に分離するとその影響は大きい。
- 橋面荷重は構造系の完成後に作用する荷重であるので一般にはクリープ応力は発生しないとして扱われるが、クリープしない鋼材があるので後死荷重でもクリープ応力は発生する。

現行法と計算 A, B の差は橋面工と活荷重モーメントの和の凡そ 10~30%に相当する。クリープ応力は材料および時間に依存する不確定要素があるため、断面に対して有利に作用する場合には加算しないと規定しているケースもあるが、特にそのような配慮をしない場合には注意が必要と思われる。